

저열량 천연가스의 연소호환성 판별에 관한 연구

이현찬, 허재영, 유현석, 하영철

한국가스공사

A Study for the Interchangeability Discrimination of Low Heating Value Natural Gas

Lee Hyen Chan, Her Jae Young, Yoo Hyun Seok, Ha Young Cheol

Korea Gas Corporation

1. 서론

본 연구는 향후 국내에 도입되는 저열량 천연가스의 연소 호환성을 판별하기 위한 것이다. 현재 공급되고 있는 천연가스의 고위 발열량은 10,550kcal/Nm³(’04년도 평균치) 인데, 도입되는 저열량 천연가스의 고위 발열량은 50~1,000kcal/Nm³ 정도로 낮은 열량이다. 저열량 천연가스의 연소호환성 여부를 판별하기 위해 가정용 및 업소용에서 대표적으로 사용하고 있는 분젠버너와 산업용에서 대표적으로 사용되고 있는 확산버너를 사용하여 실험실 스케일에서 연소 호환성 여부를 판별하는 기초실험을 실시하였다.

2. 이론(실험 및 방법)

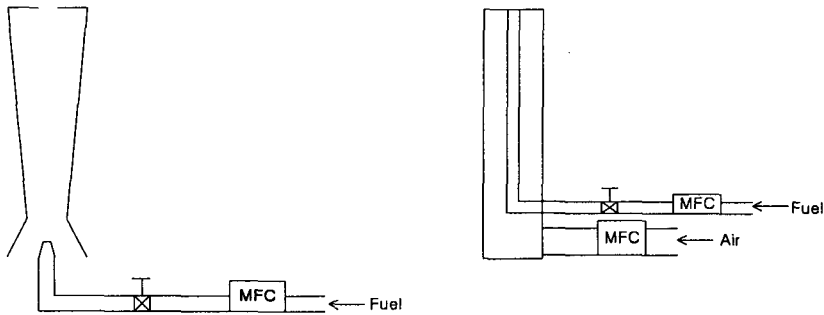


그림1 실험장치 개략도

저열량 가스의 연소호환성 판별을 위한 실험을 하기 위해 그림1 에서와 같은 분젠버너 및 확산 버너를 제작하여 실험을 실시하였다. 연소호환성 판별 실험은 다음과 같이 실시하였다. 먼저 분젠 버너의 연소호환성 판별 실험에서는 “Weaver의 화염상태 분류법”(표1)을 이용하여 화염상태가 매우 양호한 “0” 조건을 확인 후 같은 조건에서 저열량가스를 공급하여 Weaver의 화염상태 분류법에 따라 연소상태를 측정하였다. 여기서 실험의 정확성을 요하기 위해 기준가스 상태에서 공급가스의 유량을 니들밸브를 사용하여 고정시킨 후 같은 상태에서 저열량가스를 공급하여 연소호환성 실험을 실시하였다. 아래 표는 Weaver의 화염상태 분류법을 나타내고 있다.

표1 Weaver의 화염상태 분류법

화염수	화염상태	비고
-5	외염에 명확한 노란불꽃 또는 내염에 많은 양의 밝은 빛을 내는 노란불꽃 발생	황염
-4	외염에 약간의 노란불꽃흐름 또는 내염 가장자리에 노란불꽃 형성, 화염층들 부위에 그을음 없음	황염
-3	가장자리가 파열된 내염, 불꽃이 약간 흔들림	-
-2	매우 희미한 내염	-
-1	희미한 내염, 매우 부드러운 불꽃	-
0	둥근 모양의 내염, 부드러운 불꽃	-
+1	명확한 내염	-
+2	명확하고 끝이 뾰족한 내염	-
+3	길이가 짧은 내염, 연소시 소음발생	-
+4	화염이 비화경향이 있으나 착화후 곧 안정	비화
+5	화염의 비화현상이 일어남, 버너포트의 25%이상에서 화염이 없음	비화
FB	화염이 역화가 발생함	역화

※ 양호한 연소상태 : -2 ~ +2

다음으로 확산버너실험에서는 분젠버너실험에서와 마찬가지로 먼저 기준가스를 공급하여 화염형상이 sharp 하며 떨림이 없는 상태에서 공급가스의 유량을 조절하는 니들밸브를 고정된 후 같은 조건에서 저열량가스를 공급하여 연소호환성 여부를 판별하고자 하였다. 확산버너의 경우는 연소용 공기가 동축 방향으로 공급되게 되는데, 공급되는 공기의 유량은 공급가스에 관계없이 40ℓ/min로 일정하게 공급하여 실험을 실시하였다. 그리고 분젠버너 및 확산버너 연소호환성 실험시 화염길이, 배기가스, 화염온도 등을 측정하여 연소호환성 판별에 참고 자료로 사용코자 하였다. 아래 표2는 저열량가스의 조성 및 물성 등을 나타내고 있다.

표2 저열량가스의 조성 및 물성치

실험 가스	CH4	C2H6	C3H8	IC4H10	NC4H10	IC5H12	NC5H12	N2	propylene	비중	고위발열량(kcal/Nm3)
기준 가스	90.09	6.04	2.54	0.54	0.58	0.02	0.00	0.19	-	0.6268	10550
저열량 가스1	93.49	5.08	1.16	0.08	0.11	0.01	0.01	0.06	-	0.5945	10096
저열량 가스2	100.00	0	0	0	0	0	0	0	-	0.5549	9523
저열량 가스3	91.64	1.93	5.74	0.16	0.10	0.	0	0.42	0.01	0.6243	10500

3. 실험결과 및 고찰

3-1. 실험결과

먼저 분젠버너 실험에서는 기준가스를 공급하여 화염상태가 양호할 때의 공급유량을 고정하였다. 그리고 저열량가스를 공급하여 화염상태를 관찰하였다. 표2에서 보는 바와 같이 각 가스의 비중 차이로 인해 공급유량이 달라짐을 알 수 있었다. 표3은 각 가스의 공급유량을 나타내고 있다.

표3 각 가스의 공급유량

실험가스	분젠버너(l/min)	확산버너(l/min)	
		가스	공기
기준가스	0.47	0.35	40
실험가스1	0.45	0.34	40
실험가스2	0.44	0.33	40
실험가스3	0.47	0.35	40

기준가스의 연소상태 양호 조건에서 각 실험가스의 연소상태를 Weaver의 화염상태 분류법에 의해 측정하였다. 측정결과는 표4에 나타내었다. 그리고 각 실험가스의 화염상태에 대한 사진이 그림2에 나타내었다.

표4 각 가스의 연소상태

	기준가스	실험가스1	실험가스2	실험가스3
화염수	0	0	0	0
연소상태	양호	양호	양호	양호

※ 화염수 "0" : 둥근모양의 내염, 부드러운 불꽃



기준가스

실험가스1

실험가스2

실험가스3

그림2 분젠버너에서의 각 가스의 화염형상

그림2에서 보는 바와 같이 각 가스의 화염상태가 Weaver의 화염상태 분류법에서 제시한 "0"의 "둥근 모양의 내염, 부드러운 불꽃"이므로 양호한 화염상태를 나타내고 있다.

다음으로 확산버너를 이용하여 각 가스의 화염상태를 측정하였다. 확산버너의 경우는 화염상태가 안정적인 조건(화염형상이 sharp, 떨림이 없음)을 육안으로 관찰하여 측정하였다. 그림3에서 확산버너에서 각 가스의 화염형상을 나타내고 있다.



기준가스

실험가스1

실험가스2

실험가스3

그림3 확산버너에서의 각 가스의 화염형상

각 가스의 화염형상이 sharp 하며, 떨림이 없는 안정적인 상태를 나타내고 있다. 그러나 실험1 및 실험2가스의 경우는 표3의 공급유량에서 보는바와 같이 공급유량이 적으로 상대적으로 화염길이 가 짧아짐을 알 수 있다.

표5 각 실험가스의 화염길이

	기준가스(cm)	실험가스1(cm)	실험가스2(cm)	실험가스3(cm)
분젠버너	2.9	2.8	2.7	2.9
확산버너	10.4	9.7	8.5	10.2

표5는 분젠버너 및 확산버너의 기준가스 및 각 실험가스의 화염길이를 비교한 것이다. 표에서 보는 바와 같이 실험가스1과 실험가스2의 경우는 비중이 상대적으로 작으므로 공급유량이 작아 화염길이가 상대적으로 짧아짐을 알 수 있다. 분젠버너의 경우는 화염길이 차이가 근소(기준가스대비 7% 정도)하지만 확산버너의 경우는 기준가스대비 최대 18% 정도 짧아짐을 알 수 있다.

표6 각 가스의 온도측정 결과

	기준가스	실험가스1	실험가스2	실험가스3
분젠버너	1113℃	1108℃	1101℃	1105℃
확산버너	953℃	986℃	1023℃	961℃

표6은 분젠버너 및 확산버너의 기준가스 및 각 실험가스의 최대 화염온도를 나타내고 있다. 분젠버너의 경우는 외염 끝부분에서 최대 화염온도를 나타내며, 열량에 관계없이 평균적으로 대략 1107℃ 정도를 나타내고 있다. 확산버너의 경우는 화염의 끝부분에서 최대 화염온도를 나타내며, 열량에 관계없이 평균적으로 대략 981℃ 정도를 나타내고 있다.

마지막으로 배기가스 측정결과는 표7과 같다.

표7 각 가스의 배기가스 측정결과

	분젠버너				확산버너			
	기준가스	실험가스1	실험가스2	실험가스3	기준가스	실험가스1	실험가스2	실험가스3
NOx(ppm)	24	35	37.8	28.8	79.7	78.7	75	78.2
CO(ppm)	33	44	46	36	53	34	16	46
CO2(%)	4	7.4	7.1	5.4	10	9.2	8.3	9.7
O2(%)	14.2	8.3	8.8	11.5	4.9	5.7	6.9	5.3

분젠버너의 경우 배기가스 측정치의 변동폭이 커서 정확한 값을 측정하기 어려웠으나 대략 비슷한 수준의 배기가스량을 나타내고 있었다. 확산버너의 경우는 공급공기량이 일정한 상태(40ℓ/min)에서 상대적으로 공급가스량이 적은 실험가스1 및 실험가스2에서 희박연소가 이루어져 CO가 적게 배출되고, O2가 많이 측정되었다.

4. 결론

본 저열량가스의 연소호환성 판별을 위한 실험결과, 가정용 및 업소용에 주로 사용되는 분젠버너는 열량에 관계없이 화염상태에서도 양호한 결과가 나왔으며, 화염길이, 화염온도 및 배기가스에 있어서도 1,000kcal/Nm3 정도의 열량 차에 의해 큰 영향을 미치지 못함을 알 수 있었다. 또한 산업용에서 주로 사용되는 확산버너도 저열량가스의 화염형상은 양호하였으나 확산버너의 경우 일정한 공기량과 비중 차에 의한 공급가스량의 차이에 의해 화염길이 및 배기가스량에 다소 차이 발생하였다. 본 실험은 실험실 스케일에서 시행된 기초실험이므로 저열량가스에 대한 좀더 정확한 연소호환성 판별을 위해서는 실제조건에 맞는 스케일과 구체적인 실험이 수반되어야 할 것으로 판단된다.

5. 참고문헌

1. Elmer R. Weaver, "Formulas and Graphs for Representing the Interchangeability of Fuel Gases", Vol.46, No.3, Journal of Research of the National Bureau of Standards, 213-245(1951)
2. J. A. Harris, "Domestic Aerated Burners for Methane", I.G.E. Journal, 203-217, (1965)